

## МЕХАΝІЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА

УДК 631.3(476)

А. В. ЛЕНСКИЙ<sup>1</sup>, Е. М. ИВАНОВ<sup>1</sup>, Е. КАЖДАН<sup>2</sup>

### МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА

<sup>1</sup>Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства,  
Минск, Беларусь, e-mail: alex\_lensky@mail.ru

<sup>2</sup>University College Dublin, Dublin, Ireland

(Поступила в редакцию 17.03.2015)

Одним из важнейших направлений повышения эффективности сельскохозяйственного производства является стратегическое планирование в области технического оснащения предприятия. Известно, что в настоящее время основным трендом отрасли сельскохозяйственного машиностроения стало предложение специализированных комплексов машин, обеспечивающих высокую производительность, качество работы и комфортные условия труда оператора. Эти эффективные и интеллектуальные машины и технологии, по заверениям изготовителей, призваны экономить денежные средства сельскохозяйственных товаропроизводителей, обеспечить выполнение полевых работ в лучшие агротехнические сроки и гарантировать получение высоких урожаев. Однако, на практике, службам сельскохозяйственного предприятия становится весьма сложно разобраться в широкой номенклатуре и ассортименте предлагаемого оборудования, что зачастую приводит к принятию субъективных, экономически не подтвержденных решений по технической модернизации производства. Кроме того, планирование закупок машин требует значительных затрат времени и сил, учета технологических особенностей и специфики производства, проведения сравнительных экономических оценок как комплексов, так и отдельных технических средств.

Сегодня наиболее перспективным подходом для выработки оптимальной стратегии технического оснащения является не просто разработка частных математических моделей, а создание полноценного программного комплекса для планирования производственной деятельности сельскохозяйственного предприятия в режиме online.

Это предполагает проведение исследований по следующим основным направлениям (рис. 1):

- 1) разработка структуры и содержания необходимых баз данных, включая информацию о полевых участках (картографическую информацию);
- 2) разработка методики комплектования агрегатов и расчета их эксплуатационных показателей (производительности и расхода топлива);
- 3) разработка алгоритма оптимизации парка технических средств;
- 4) формирование оптимального расписания проведения полевых работ.

Ответственным этапом оптимизационных расчетов является формирование исходной информации, которая содержится в административной и пользовательских базах данных. Первая включает в себя сведения о технических и ценовых характеристиках тракторов и сельскохозяйственных машин, перспективные технологии возделывания культур, характеристики условий эксплуатации машин и др. Базы данных пользователей содержат материалы о конкретных предприятиях, включая карты полей, планы работ на расчетный период, наличие машин и оборудования и т. д.

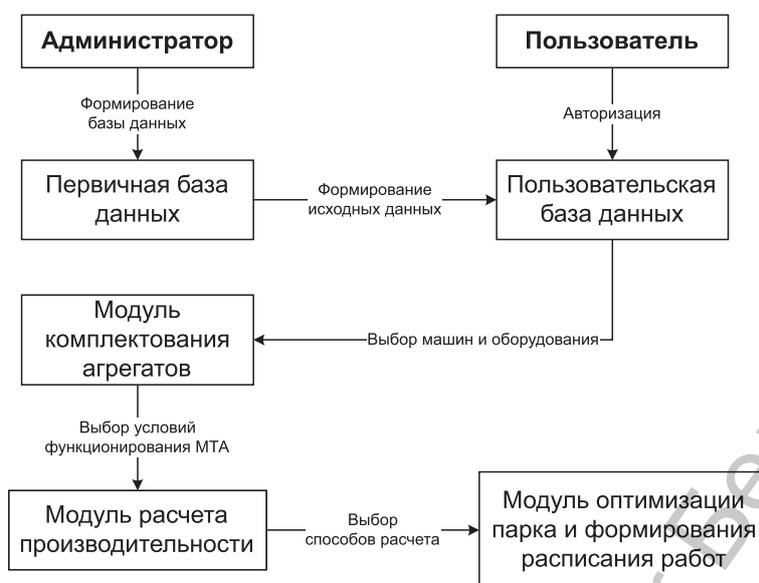


Рис. 1. Принцип работы программного комплекса

Комплектование агрегатов для выполнения планируемых полевых работ и расчет их эксплуатационных параметров производится автоматически на основании материалов, содержащихся в административной и пользовательской базах данных. Такой подход обусловлен в первую очередь большой номенклатурой применяемых технических средств и необходимостью рассмотрения множества возможных комбинаций агрегатов. Кроме того, зачастую отсутствуют достоверные сведения о производительности машин, особенно импортного производства, в связи с чем наиболее целесообразным является метод ее определения на основе оптимизации скоростного режима машинно-тракторных агрегатов.

Завершающим этапом является оптимизация состава парка и формирование расписания выполнения полевых работ в соответствии с заданными пользователем условиями.

Для описания сущности предлагаемого проекта рассмотрим следующие используемые понятия и определения.

*Полевой участок (поле)* – место реализации конкретной технологии, заданной пользователем (например, поле № 1). Поле является объектом, над которым совершаются определенные действия – технологические операции. Основные характеристики поля, необходимые для расчета, – конфигурация, площадь, группа почв, кислотность и т.д., – прямо или косвенно влияют на производительность используемых машинных агрегатов.

*Технологическая операция (операция)* – работа, выполняемая на конкретном поле в определенные временные сроки как часть реализации конкретной технологии (например, дискование поля № 1). Между технологическими операциями существует понятие взаимосвязи, которое определяет четкую хронологию их выполнения и временные «разрывы» между ними.

*Агротехнический срок выполнения операции (агросрок)* – нормативный период проведения работ для выполнения операции на конкретном поле (например, агросрок дискования поля № 1 – 5.04–10.04).

*Технология* – совокупность технологических операций, выполняемых при возделывании определенной культуры на конкретном поле (например, технология возделывания пшеницы после однолетних трав на поле № 1).

*Машинно-тракторный агрегат (агрегат)* – совокупность нескольких единиц техники для выполнения технологической операции. В качестве агрегата могут выступать следующие комбинации: трактор + сельскохозяйственная машина, комбайн, стационарное оборудование (например, JohnDeere 8520 + Kverneland BB100). Один и тот же агрегат по наименованию может выполнять операции на различных полевых участках, но иметь иные эксплуатационные показатели (производительность, расход топлива).

*Природно-производственные условия* – совокупность факторов при выполнении технологической операции, определяющих условия функционирования и эффективность эксплуатации машинно-тракторного агрегата. К ним относятся, например, конфигурация поля, условия движения агрегата, тип почвы на поле, условия оплаты труда и др.

*Расписание* – искомое решение, заключающееся в оптимальном распределении МТА во времени по технологическим операциям в соответствии с заданием, сформированным пользователем.

На практике формирование расписания является довольно длительным и сложным процессом, поскольку необходимо осуществить поиск оптимального решения в большом пространстве поиска на множестве допустимых решений, что, по сути, является комбинаторной задачей. Поскольку каждый элемент модели представляет собой машинно-тракторный агрегат с индивидуальным набором характеристик либо технологию со сложной структурой взаимосвязанных операций, задача составления расписания относится также к многокритериальным.

В качестве целевой функции приняты эксплуатационные затраты на реализацию всех технологий в расчетном периоде:

$$A = \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N A_{jn} = \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N (F + L + D + RP + IA + IL + IS)_{jn} \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $A$  – величина эксплуатационных затрат, долл. США;  $j \in J, n \in N$  – наименование технологической операции и машинного агрегата для ее выполнения соответственно;  $F$  – затраты на топливо и смазочные материалы, долл. США;  $L$  – затраты на оплату труда, долл. США;  $D$  – затраты на амортизацию, долл. США;  $RP$  – затраты на ремонты и обслуживание машин, долл. США;  $IA$  – альтернативные издержки, долл. США;  $IL$  – оплата за пользование кредитом, долл. США;  $IS$  – расходы на страхование и хранение машин, долл. США.

В целях корректного описания алгоритма оптимизации необходимо четкое определение взаимосвязей между используемыми входными данными:

1) номер поля ( $k$ ) → порядок операций ( $j$ ). Все номера полей имеют свою собственную последовательность операций, отсортированную в уникальном порядке, что формируется в технологии, выбираемой пользователем для конкретного поля;

2) операция ( $j$ ) → список агрегатов ( $n$ ). Каждой операции соответствует список агрегатов, которые могут ее выполнить, что формируется автоматически исходя из заданного пользователем перечня имеющейся техники, а также условий соответствия машин определенным операциям.

Приведенная нами модель является усеченным вариантом полной оригинальной модели и демонстрирует базовые понятия и подходы, используемые в процессе вычислений.

Основным расчетным параметром в процессе оптимизации является время работы агрегата на операции:

$$TS = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (TO_{kj} + TB_{kj}), \quad TB_{\min(j-1)} \leq TB_{kj} \leq TB_{\max(j-1)}, \quad (2)$$

где  $TS$  – время, затраченное на выполнение последовательных операций, ч;  $TO$  – время работы всех агрегатов на операции, ч;  $TB$  – технологический разрыв между операциями (разрыв  $TB$  имеет смысл лишь по отношению к предыдущей операции в отсортированном списке для конкретного поля), ч.

Такой подход позволит осуществлять запись технологии возделывания как последовательности операций, опирающихся не просто на календарные сроки, а на жизненный цикл растений, что в полной мере отобразит особенности вегетации культур (табл. 1). В качестве начальной установки выступает период выполнения первой технологической операции, все последующие работы будут определяться на основании параметров  $TB_{\min} - TB_{\max}$ , которые в случае необходимости могут быть скорректированы.

Таблица 1. Форма представления технологии (фрагмент)

Операция	Начало работ (норматив)	Окончание работ (норматив)	Период работ, дней	Разрыв, дней
Дискование	16.09.2013	17.09.2013	2	–
Дискование	18.09.2013	19.09.2013	2	2–3
Транспортировка воды и заправка опрыскивателя	24.09.2013	25.09.2013	2	5–6
Обработка гербицидами	24.09.2013	25.09.2013	2	0
Погрузка минеральных удобрений	18.04.2014	18.04.2014	1	190–200
Погрузка минеральных удобрений	18.04.2014	18.04.2014	1	0
Транспортировка и внесение минеральных удобрений	18.04.2014	18.04.2014	1	0

Пример визуализации последовательных операций приведен на рис. 2.

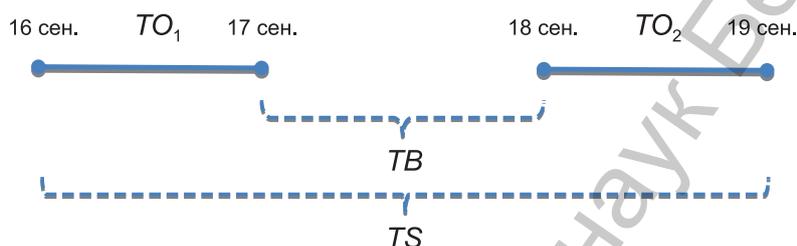


Рис. 2. Формализация последовательного процесса

Выполняемые операции собраны в матрицу размером  $J \times J$ , где на главной диагонали расположена последовательность индексированных операций (табл. 2).

Таблица 2. Матрица технологических операций

Поле	Операция	Начало работ (план)	Окончание работ (план)	№ операции*	№ операции*												
					4	1	4	1	2	5	5	6	8	7	3		
1	Уборка	01.08.2013	05.08.2013	4	1												
1	Прессование	01.08.2013	07.08.2013	1		1											
2	Уборка	03.08.2013	08.08.2013	4			1										
2	Прессование	03.08.2013	10.08.2013	1				1									
2	Дискование	17.08.2013	23.08.2013	2					1								
1	Вспашка	20.08.2013	23.08.2013	5						1							
2	Вспашка	22.08.2013	26.08.2013	5							1						
1	Посев	27.08.2013	29.08.2013	6								1					
3	Подвоз воды	10.04.2014	12.04.2014	8									1				
3	Опрыскивание	10.04.2014	12.04.2014	7											1		
3	Скашивание	05.08.2014	10.08.2014	3													1

\* Операции в матрице отсортированы по времени их выполнения.

Время работы агрегатов на операции определяется по формуле

$$TO_{kj} = \sum_{n=1}^{N_j} \omega_{kjn} \cdot TA_{kjn}, \quad TO_{kj} \leq TO_{kj}^{\max} + \delta TO_{kj}, \quad (3)$$

где  $TO_{kj}$  – время работы всех возможных агрегатов  $N_j$  на  $j$ -й операции  $k$ -го поля, ч;  $\omega$  – показатель стоимости работы  $n$ -го агрегата по отношению к самому дорогому агрегату, который может быть использован для данной операции (принимает значения от 0 до 1);  $TA_{kn}$  – время, необходимое агрегату для выполнения операции самостоятельно, ч;  $\delta TO$  – время, которое может быть добавлено к общему времени работы всех агрегатов  $TO^{\max}$ , чтобы сократить расходы, ч.

Параметр  $TA$  может быть определен исходя из производительности агрегата и площади полевого участка:

$$TA_{kjm} = \frac{S_k}{E_{kjm}}, \quad (4)$$

где  $S_k$  – площадь  $k$ -го поля, га;  $E_{kjm}$  – производительность  $n$ -го агрегата на  $j$ -й операции  $k$ -го поля за 1 ч сменного времени, га/ч.

Возможность существования решения будет определяться набором правил и ограничений, которые должны быть в обязательном порядке выполнены.

**1. Ограничение по выполнению объема работ.** Ограничение предполагает, что каждое поле должно быть полностью обработано и работа на всех операциях должна быть завершена. Формализованная запись представляет собой сумму объемов работ, выполненных агрегатами на каждой технологической операции:

$$\forall j; \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^{N_j} E_{kjm} \cdot TA_{kjm} = \sum_{k=1}^K S_k. \quad (5)$$

**2. Ограничение по непрерывности выполнения операции.** Ограничение предполагает отсутствие перерывов в работе агрегата в пределах срока выполнения операции:

$$\forall n, j; \sum_{k=1}^K (TA_{kjm} + TA_{0n}) = \sum_{k=1}^K TO_{kj}. \quad (6)$$

**3. Ограничение по соблюдению интервалов между операциями.** Как отмечалось ранее, для операций существуют понятия минимального и максимального технологического интервала, который определяется параметром  $TB$ . В этой связи ограничения для последовательных процессов будут выражены аналогично зависимостям (2).

**4. Ограничение по использованию машины.** Для каждого технического средства осуществляется проверка, чтобы его суммарная наработка не превысила максимального значения, установленного пользователем (это может быть время смены, распространяемое на все машины либо индивидуальные ограничения).

$$\forall m; \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J TA_{kjm} \leq TM_{\max}, \quad (7)$$

где  $m$  – обозначение машины;  $TM_{\max}$  – максимальный дневной лимит работы, ч.

Данные подходы положены в разработку программного продукта, представляющего собой единую информационную и расчетно-аналитическую систему, позволяющую выполнять ряд задач по разработке долгосрочных планов и прогнозов производства продукции с формированием соответствующей технологической документации, оптимальному распределению техники по видам работ, планированию закупок машин и оборудования и разработке стратегии обновления парка техники, оперативному учету выполнения работ, сравнительной оценке эффективности машин и оборудования и др.

Следует отметить, что современный бизнес, работающий в аграрной среде, зачастую сталкивается с необходимостью планирования, анализа и учета выполняемых работ в целях повышения эффективности функционирования, получения дополнительной прибыли или снижения затрат, однако, существующие решения в большинстве случаев обладают недостаточными функциональными возможностями и представляют собой специализированные учетно-аналитические программные продукты.

Предлагаемые решения включают следующие вычислительные и аналитические разделы, предназначенные:

– для сельскохозяйственных предприятий:

- 1) оптимизация использования парка техники, выбор наиболее эффективного варианта машинно-тракторного парка для решения конкретных задач;
- 2) планирование выполнения работ в текущем периоде;

- 3) прогнозирование и анализ получаемой прибыли и требуемых инвестиций;
- 4) online-консультации от производителей сельскохозяйственной техники и экспертов;

– для производителей техники:

- 1) реклама новых моделей машин и оборудования непосредственно для сельскохозяйственных предприятий;
- 2) сравнительная оценка эффективности техники;
- 3) прогнозирование спроса на новые машины;
- 4) система экспертных оценок и фактические показатели по результатам производственной эксплуатации.

– для рядовых пользователей (учреждения образования, научно исследовательские институты, органы государственного управления):

- 1) информационно-аналитические материалы;
- 2) новости и публикации;
- 3) рекламные проспекты от производителей сельскохозяйственной техники.

Как отмечалось ранее, компонентами целевой функции предлагаемой нами модели формирования оптимального парка технических средств являются семь основных статей затрат, которые могут быть разделены на две категории:

1) *условно-постоянные затраты* (издержки владения, которые не зависят от использования техники). К ним относятся расходы на амортизацию, проценты за пользование кредитными ресурсами, альтернативные издержки, затраты на страхование и хранение машин;

2) *условно-переменные затраты* (эксплуатационные расходы, которые изменяются непосредственно с продолжительностью использования техники: затраты на техническое обслуживание и ремонт, затраты на топливо и смазочные материалы, оплата труда механизаторов).

Рассмотрим применяемые в предлагаемом программном комплексе варианты расчетов указанных затрат.

**1. Расходы на амортизацию (D).** Методика расчета величины отчислений на амортизацию не является единой и существенно различается по территориальному признаку. Так, если в странах ЕС получили распространение методы расчета по ресурсу техники или планируемому периоду ее эксплуатации, то в странах Таможенного союза активно применяется нормативный метод расчета. На территории США действует совершенно иной метод расчета амортизации (MACRS), основанный на использовании нормативных периодов эксплуатации либо имущественных классов техники [1].

Расчет величины амортизационных отчислений с использованием метода временной стоимости предполагает применение такого параметра, как период эксплуатации техники с момента ее приобретения.

В качестве ликвидационной стоимости может выступать, на усмотрение пользователя, расчетная оценочная стоимость для соответствующего периода либо ее нулевое значение, что соответствует полному списанию машины.

Наиболее логичным и отражающим объективную степень износа оборудования является метод расчета с использованием его ресурса, причем базой для начисления амортизации может являться как первоначальная цена покупки машины, так и ее оценочная стоимость, что позволяет, в определенной степени, учитывать моральный износ. Расчет величины годовых амортизационных отчислений производится с учетом данных о фактической наработке техники на текущий момент.

Самым простым и достаточно распространенным является метод расчета на основании нормативных сроков эксплуатации машин, где возможно применение следующих вариантов начисления амортизации: линейный, уменьшаемого остатка, суммы чисел лет.

Ежегодные амортизационные отчисления, рассчитанные линейным способом, являются постоянной величиной в пределах срока эксплуатации оборудования.

Использование варианта расчета способом уменьшаемого остатка предполагает применение дополнительных параметров о величине накопленной амортизации за период владения используемым оборудованием, т. е. расчет производится исходя из остаточной стоимости оборудования

и нормы амортизации, применяемой при линейном способе, умноженной на коэффициент ускорения, установленный пользователем. Это позволяет более интенсивно списывать оборудование в первые годы его эксплуатации, что является достаточно логичным, поскольку потенциальные возможности техники в начальный период гораздо выше и постепенно снижаются по мере износа. Особенностью данного способа является то, что машина может быть полностью амортизирована до истечения нормативного срока ее использования в случае, если расчетная остаточная стоимость после начисления амортизации окажется меньше прогнозируемой ликвидационной стоимости.

При использовании способа суммы чисел лет годовая норма амортизации определяется исходя из первоначальной и ликвидационной стоимости машины, а также отношения остатка нормативного срока ее эксплуатации к сумме чисел лет.

В целом ускоренные методы расчета амортизационных отчислений удобно применять в том случае, если имеется необходимость быстрого обновления оборудования, обусловленная его интенсивным физическим или моральным износом.

В определенных случаях расчет величины амортизационных отчислений предполагает использование оценочной и ликвидационной стоимостей техники, которые в разработанном программном комплексе могут быть установлены пользователем самостоятельно либо вычислены на основании нормативных таблиц и коэффициентов по группам машин [2, 3].

Более точный расчет может быть выполнен на основании коэффициентов (предложены American Society of Agricultural Engineers), позволяющих учесть не только возраст, но и среднегодовую наработку машины [4, с. 344–355].

**2. Проценты за пользование кредитными ресурсами (II).** В методиках выполнения прогнозных расчетов, предлагаемых различными научными организациями и университетами, как правило, применяется упрощенный метод определения затрат на выплату процентов за пользование кредитными ресурсами на приобретение машин, предполагающий равномерные ежегодные значения платежей.

**3. Альтернативные издержки (IA).** Широкое распространение, особенно в зарубежных методиках расчета экономических затрат, получила оценка альтернативных издержек, обусловленных отказом от других возможных направлений использования ресурсов. В этой связи необходимо наличие как минимум двух альтернативных вариантов, которые можно оценить с помощью наиболее удобного индикатора – потерь денежных средств или упущенной выгоды.

Применительно к вопросам эксплуатации машин такой расчет целесообразно выполнять на основании их оценочной стоимости на начало  $n$ -го года (цены покупки для техники, приобретенной в конкретном году). Это позволит рассмотреть такие варианты, как приобретение или эксплуатация необходимой машины (основной вариант), использование эквивалентной денежной суммы для иных целей (альтернативный вариант).

Обязательным требованием является учет источников финансирования для приобретения машин: собственные или заемные средства. Альтернативные издержки при использовании заемных средств на приобретение техники будут равны нулю, поскольку отказ от кредита не увеличивает капитал предприятия и, соответственно, не дает возможностей получения никакого дополнительного дохода. Если источником финансирования покупки оборудования являются собственные средства, альтернативные издержки учитываются по процентной ставке, которая зависит от возможного дохода на капитал в другой сфере бизнеса, например, по ставкам краткосрочных депозитов сроком не более 1 года. Аналогичный подход будет и в случае частичного финансирования покупки за счет собственных средств.

Следует отметить, что в целях укрупненной оценки величины затрат в США применяются методики расчета совместных расходов на амортизацию и альтернативные издержки на основании комплексного коэффициента восстановления капитала. В соответствии с рекомендациями Общества инженеров сельского хозяйства (ASABE), указанный коэффициент определяется для различных комбинаций реальных процентных ставок и экономического срока службы машин и, как правило, приводится в соответствующих таблицах [2]. Отрицательной стороной такого расчета является его относительно невысокая точность, что ограничивает реальную область

практического применения методики (как правило, это частные предварительные расчеты для проведения сравнительных оценок машин).

**4. Расходы на страхование и хранение машин (IS).** По отношению к рассмотренным ранее статьям расходов затраты на страхование и хранение техники относительно невелики, тем не менее они также подлежат учету.

Страхование оборудования позволяет компенсировать затраты денежных средств на приобретение новой техники в случае повреждения имеющихся машин вследствие форс-мажорных обстоятельств: пожара, стихийных бедствий и др. В целях прогнозирования, как правило, применяются ставки из расчета 4–6 долл. США на 1000 долл. США стоимости машины. Также важной статьёй затрат являются расходы на хранение техники, которые составляют 0,5–1,0 % оценочной стоимости машины [2].

Обычно расчет указанных статей производится совместно на основании среднегодовой оценочной стоимости машины.

**5. Расходы на ремонт и техническое обслуживание машин (RP).** Данная статья расходов предполагает учет затрат, направляемых на содержание машины в работоспособном состоянии, проведение технических обслуживаний, замену вышедших из строя деталей и др. Расходы на ремонт машины очень сильно подвержены влиянию временного фактора. Так, согласно исследованиям ASABE, затраты на обслуживание технических средств распределяются неравномерно по периодам использования оборудования, а их значения для конкретного типа машины могут быть определены по специальным таблицам или эмпирическим зависимостям для конкретного периода эксплуатации (рис. 3).

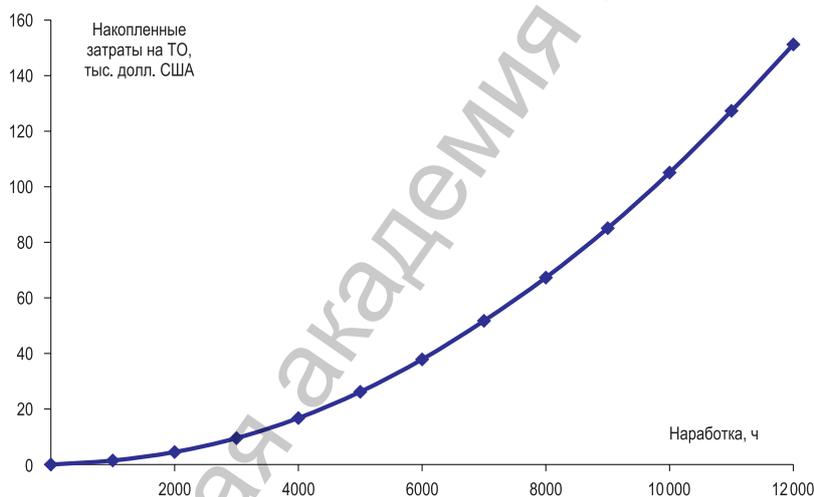


Рис. 3. Динамика роста накопленных затрат на обслуживание и ремонт [4, с. 344–354]

В случае применения эмпирических зависимостей для оценки указанных затрат базой для расчета может выступать как оценочная стоимость техники на начало и конец периода, так и первоначальная цена покупки, при этом суммарные затраты на ремонт и техническое обслуживание машин определяются на основании эмпирических коэффициентов («факторов ремонта»), зависящих от типа оборудования [4, 5].

Укрупненно величина накопленных затрат на ремонт также может быть рассчитана на основании данных таблиц об остаточной стоимости в зависимости от наименования машины и ее годовой наработки [2, 3].

Наиболее простым в практическом применении является расчет расходов на основании эмпирического коэффициента затрат на обслуживание и ремонт машины за ее ресурс. Отрицательной его стороной является допущение равномерного распределения расходов в течение срока службы машины, что приводит к существенному завышению затрат в начальный период эксплуатации, и наоборот, их занижению в дальнейшем.

**6. Расходы на топливо и смазочные материалы ( $F$ ).** Особенность расчета данной статьи затрат заключается в ее привязке к выполняемой технологической операции и агрегату. Если в предыдущих статьях расходов рассматривались только машины, то здесь оперируют понятием «агрегат».

Наиболее простым вариантом расчета является использование рекомендуемых и установленных на основании испытаний показателей производительности и расхода топлива в эталонных условиях. При этом необходимо отметить, что в предлагаемом программном комплексе величина производительности может также задаваться пользователем самостоятельно либо быть скорректирована на основании эмпирического коэффициента полевой эффективности или использования сменного времени. Такой подход реализован в рекомендациях Университета штата Айова [6]. Производительность агрегата определяется следующими переменными: шириной захвата, скоростью движения и эффективностью работы в поле, при этом в качестве рабочей скорости принимается средняя безопасная скорость при нормальных условиях работы. Полевая эффективность выражается в процентах и показывает фактические достигнутые результаты в реальных условиях. Затраты времени за пределами поля на ежедневное обслуживание техники, поездки на поля, текущий ремонт не учитываются при расчете коэффициента полевой эффективности (табл. 3).

Таблица 3. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных машин

Машины, оборудование	Скорость, миль/ч	Полевая эффективность, %
Машина для внесения минеральных удобрений	6,0	70
Плуг или чизельный культиватор	5,0	83–85
Культиватор для основной обработки	7,0	80–85
Сеялка для зерновых культур	5,0	60–65
Зерноуборочный комбайн	3,8	68–73

Примечание. Таблица составлена по материалам Iowa State University [6].

Другим вариантом, реализованным нами в программном комплексе, является расчет по удельному расходу топлива, который, несмотря на достаточно широкое практическое применение, также является достаточно приближенным и по своей точности практически не отличается от нормативного метода.

Наиболее точным образом, близким к хронометражным наблюдениям, можно определить показатели расхода топлива на основании тяговых показателей трактора.

Планирование расходов на смазочные материалы в большинстве случаев осуществляется по стоимости топлива, расходуемого за 1 ч рабочего времени, в частности, в сельскохозяйственных организациях ЕС и США указанная статья затрат в среднем составляет 13–16 % от расходов на топливо [3].

**7. Затраты на оплату труда ( $L$ ).** Для целей планирования применяется в основном упрощенный вариант расчета затрат по фиксированной часовой ставке. Данный метод расчета является простым для восприятия и, соответственно, наиболее распространенным в практическом использовании.

На основании исследований университета штата Иллинойс нами введено в методику расчета понятие «время работы механизатора», определяемое соответствующим коэффициентом. При расчете затрат на оплату труда предполагается, что занятость оператора превышает загрузку техники, что учитывает непроизводственные затраты времени на подготовку машины, уход, внеплановые поездки и др. [7].

## Выводы

Наиболее перспективным решением задачи оптимизации парка машин является не просто разработка подобной уже существующим математической модели, а создание полноценного программного комплекса для планирования производственной деятельности сельскохозяйствен-

ного предприятия в режиме online. Предлагаемый комплекс имеет блочную систему построения и содержит набор необходимых баз данных, включая информацию о полевых участках, модуль комплектования агрегатов и расчета их эксплуатационных показателей (производительности и расхода топлива), модули оптимизации парка технических средств и формирования оптимального расписания проведения полевых работ.

В качестве целевой функции для проведения оптимизационных расчетов выбраны эксплуатационные затраты на реализацию всех технологий в расчетном периоде. Поскольку возможность существования и качество решения определяется набором агротехнических, эксплуатационных и технологических правил, которые должны соблюдаться в обязательном порядке, нами выполнено математическое описание ограничений рассматриваемой задачи, что позволяет осуществить ее практическую формализацию в программном виде.

Применяемые способы оценки экономической эффективности машин предоставляют потребителю достаточное количество вариантов проведения расчетов, начиная от упрощенных методов с использованием нормативных показателей и заканчивая уточненными алгоритмами, основанными на математических моделях. В рамках предлагаемого программного комплекса учтены все вышеизложенные подходы, что позволяет пользователю выполнять расчеты эксплуатационных и экономических показателей в соответствии с действующими международными стандартами.

Предлагаемая методика положена в основу программного комплекса, представляющего собой единую информационную и расчетно-аналитическую систему, позволяющую выполнять ряд задач по разработке долгосрочных планов и прогнозов производства продукции с формированием соответствующей технологической документации, оптимальному распределению техники по видам работ, планированию закупок машин и оборудования и разработке стратегии обновления парка техники, оперативному учету выполнения работ, сравнительной оценке эффективности машин и оборудования.

## Литература

1. How To Depreciate Property. Publication 946 / Department of the Treasury; Internal Revenue Service. – Washington, DC, 2014. – 116 p.
2. *Edwards, W.* Estimating Farm Machinery Costs / W. Edwards // Ag Decision Maker. File A3–29. – Iowa State University, 2009. – 8 p.
3. *Molenhui, J. R.* Budgeting farm machinery costs / J. R. Molenhui // Factsheet – Ministry of Agriculture; Food and Rural Affairs. – Ontario, 2001. – 8 p.
4. ASAE Standards 2000, Standards Engineering Practices Data. – 47-th ed. – St. Joseph, 2000. – 1013 p.
5. *Kastens, T.* Farm Machinery Operation Cost Calculations / T. Kastens. – Kansas State University, 1997. – 26 p.
6. *Hanna, M.* Estimating the Field Capacity of Farm Machines / M. Hanna // Ag Decision Maker. File A3–24. – Iowa State University, 2002. – 4 p.
7. *Schnitkey, G.* Machine Cost Estimates: Tractors / G. Schnitkey, D. Lattz, J. Siemens // Farm Business Management Handbook. FBM 0204. – University of Illinois, 2003. – 2 p.

*A. V. LENSKI, E. M. IVANOV, E. KAZHDAN*

## METHODOLOGICAL ASPECTS OF OPTIMIZATION OF THE TRACTOR FLEET FOR PLANT BREEDING

### Summary

The paper considers the principles of the development of software for planning of the production activity of an enterprise in the plant breeding branch. The mathematical description of the model for optimization of the tractor fleet and creation of a field work schedule is presented. The options for calculation of operation and equipment costs are stated.